



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 054 639** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) Int. Cl.<sup>6</sup> **G 01 J 3/26**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 92014168/25, 24.12.1992

(46) Date of publication: 20.02.1996

(71) Applicant:  
Nauchno-issledovatel'skij radiofizicheskij institut

(72) Inventor: Kozhevaton I.E.,  
Kulikova E.Kh., Cheragin N.P.

(73) Proprietor:  
Kozhevaton Il'ja Emel'janovich

(54) **FABRY-PEROT OPTICAL FILTER**

(57) Abstract:

FIELD: optical instrument making.  
SUBSTANCE: stabilization of optical length of an interval between mirrors of an interferometer is provided by sustaining a constant spatial position of maximums of an interference pattern of irradiation of a

reference source at an output of the above mentioned interferometer. That allows to eliminate using a white light source, a modulator and one of correction units and to significantly simplify the other correction unit. EFFECT: simplified structure of filters. 1 cl, 1 dwg

RU 2 0 5 4 6 3 9 C 1

RU 2 0 5 4 6 3 9 C 1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 054 639** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>6</sup> **G 01 J 3/26**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 92014168/25, 24.12.1992

(46) Дата публикации: 20.02.1996

(56) Ссылки: Bray R.S., LEST Foundation, 1988, technical report, N 35, 3-25, Австралия.  
Авторское свидетельство СССР N 1542202, кл. G 01J 3/26, 1988.

(71) Заявитель:

Научно-исследовательский радиофизический институт

(72) Изобретатель: Кожеватов И.Е.,  
Куликова Е.Х., Черагин Н.П.

(73) Патентообладатель:

Кожеватов Илья Емельянович

**(54) ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР ФАБРИ - ПЕРО**

**(57) Реферат:**

Использование: в оптическом приборостроении для наблюдений астрономических источников на заданной длине волны. Сущность изобретения: стабилизация оптической длины промежутка между зеркалами интерферометра обеспечивается путем поддержания

неизменного пространственного положения максимумов интерференционной картины излучения эталонного источника на выходе указанного интерферометра, что позволяет исключить источник белого света, модулятор и один из блоков коррекции, а другой блок коррекции существенно упростить. 1 ил.

RU 2 0 5 4 6 3 9 C 1

RU 2 0 5 4 6 3 9 C 1

Изобретение относится к технической физике, в частности к оптическому приборостроению, предназначено для долговременных наблюдений астрономических источников на заданной длине волны и может быть использовано в метеорологии, в ядерных исследованиях и при спектральных исследованиях лабораторных источников.

Известен оптический фильтр, содержащий источник белого света, светорасщепитель, вспомогательный и основной интерферометры Фабри-Перо и три фотодетектора, а также электронные системы контроля параллельности пластин и рабочего промежутка основного интерферометра. Вспомогательный интерферометр включает два зеркала, жестко связанных между собой и расположенных под углом  $\alpha$  к оптической оси. Модуляция излучения источника белого света, используемого для контроля, осуществляется посредством модуляции длины рабочего промежутка вспомогательного интерферометра при его вращении вокруг оси. Основной интерферометр Фабри-Перо включает неподвижное зеркало и подвижное зеркало, по периметру которого закреплены три пьезоэлектрических элемента. Каждый из трех выходов светорасщепителя через основной интерферометр оптически связан с входом соответствующего фотодетектора, выход которого подключен к соответствующему входу электронной системы контроля, при этом выходы системы подключены к входам соответствующих пьезоэлектрических элементов. Установка вспомогательного интерферометра по углу используется для регулировки длины волны пропускания основного интерферометра. Для исключения влияния изменений температуры окружающего воздуха на стабильность прибора дополнительно применяется термостатирование корпуса с точностью  $0,1^\circ\text{C}$ . Стабилизация оптической длины рабочего промежутка между пластинами основного интерферометра обеспечивается за счет сравнения его с длиной рабочего промежутка вспомогательного интерферометра, при этом относительная стабильность частоты пропускания основного интерферометра  $d\nu/\nu \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-6}$ . Низкая стабильность фильтра связана с механическим вращением вспомогательного интерферометра и с отсутствием высокостабильного эталона сравнения, что приводит к недостаточной стабильности частоты пропускания основного интерферометра Фабри-Перо. Кроме того, термостатирование приводит к усложнению прибора.

Известен оптический фильтр, содержащий интерферометр Фабри-Перо, эталонный конденсатор, три мостовые электронные схемы и три операционных усилителя. Одно из зеркал интерферометра закреплено на трех пьезоэлектрических элементах. На внутренней стороне зеркал напылены пять пар проводящих площадок, образующих пять конденсаторов. Параллельность зеркал обеспечивается за счет сравнения емкостей этих конденсаторов с емкостью эталонного. Преимуществом данного решения является отсутствие контрольного луча и вспомогательного интерферометра.

Максимальная относительная точность поддержания параллельности зеркал и длины рабочего промежутка интерферометра в реализованном решении составляет  $d\nu/\nu \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-6}$ . Недостаточная стабильность частоты пропускания оптического фильтра связана с низкой стабильностью емкости эталонного конденсатора. Кроме того, изменения диэлектрической проницаемости воздуха в эталонном конденсаторе и показателя преломления воздушного промежутка между пластинами интерферометра в зависимости от атмосферного давления, температуры и влажности не однозначны, что приводит к дополнительной нестабильности фильтра.

Известен спектрометр, разработанный для инфракрасной области излучения. Спектрометр содержит источник белого света, монохроматор, расщепитель пучка, основной и вспомогательный интерферометры Фабри-Перо, а также системы электронного контроля и коррекции параллельности пластин и длины рабочего промежутка основного интерферометра. Корпус, в который помещен основной интерферометр, охлаждается, и производится его вакуумизация. Стабилизация оптической длины рабочего промежутка между пластинами основного интерферометра обеспечивается за счет сравнения его с длиной рабочего промежутка вспомогательного интерферометра, при этом обеспечивается относительная стабильность частоты пропускания основного интерферометра  $d\nu/\nu \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-5}$ . Низкая стабильность частоты пропускания основного интерферометра Фабри-Перо связана с отсутствием высокостабильного эталона сравнения, а применение криогенной техники и вакуумизации для уменьшения шумов прибора и влияния параметров атмосферы ведет к усложнению спектрометра.

Известен спектрометр, разработанный для выполнения сравнительных исследований изотопов урана методом оптических спектров. Спектрометр содержит источник эталонного излучения, расщепитель светового пучка, интерферометр Фабри-Перо, а также генератор пилообразного напряжения, измеритель фаз интерференционной картины и систему электронного контроля длины рабочего промежутка интерферометра. Стабилизация длины рабочего промежутка интерферометра достигается за счет контроля фаз интерферограмм излучения эталонного источника посредством активной обратной связи, что позволяет достичь относительной стабильности  $d\nu/\nu \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-8}$ . Использование спектрометра в качестве оптического фильтра при долговременных наблюдениях на заданной частоте приводит к потере информации вследствие необходимости функционирования системы контроля в режиме постоянного сканирования.

Прототипом по совокупности сходных существенных признаков принят разработанный в НИРФИ оптический фильтр Фабри-Перо, содержащий оптически сопряженные через блок сложения источник эталонного излучения и источник белого света, с которыми последовательно на той же оптической оси установлены расширитель пучка, выполненный в виде конденсатора,

диафрагма, соединенный с формирователем модулирующего напряжения модулятор частоты и делительное зеркало. Делительное зеркало выполняет функцию делителя спектра и по ходу первого луча через монохроматор оптически связано с последовательно установленными светорасщепителем и интерферометром Фабри-Перо. По ходу второго луча делительное зеркало соединено с сигнальным входом первого блока коррекции, выход которого подключен к корреляционному входу модулятора. Интерферометр Фабри-Перо включает неподвижное зеркало и подвижное зеркало, по периметру которого закреплены три пьезоэлектрических элемента. Каждый из трех выходов светорасщепителя оптически связан с соответствующим сигнальным входом второго блока коррекции, выходы которого подключены к соответствующим пьезоэлектрическим элементам интерферометра Фабри-Перо. Опорный вход блока коррекции подключен к выходу блока синхронизации, соединенному также с опорными входами первого блока коррекции и формирователя модулирующего напряжения. В качестве модулятора частоты использован вспомогательный интерферометр Фабри-Перо, включающий два зеркала, на одном из которых закреплен пьезоэлектрический элемент. Оптический фильтр-прототип обладает наивысшей стабильностью частоты пропускания среди известных оптических фильтров подобного типа. Теоретически его нестабильность определяется нестабильностью частоты эталонного источника. При использовании в качестве такового стабилизированного по частоте лазера с нестабильностью  $d\nu/\nu=10^{-8} \cdot 10^{-9}$  нестабильность частоты пропускания фильтра должна иметь такую же величину. В фильтре предусмотрена возможность перестройки частоты пропускания.

Однако при анализе высокочастотных процессов, характерное время которых составляет  $\approx 0,001$  с, (например, процессов в плазме, люминесценции жидкостей и газов под воздействием внешних возбудителей, процессов в электрической дуге и т. д.) имеющие место флуктуации интенсивности излучения как источника белого света, так и источника лазерного излучения не позволяют на практике реализовать теоретическую стабильность частоты пропускания фильтра.

Действительно фаза  $\psi_i$  сигнала на выходе каждого из каналов второго блока коррекции, связанного с основным интерферометром Фабри-Перо, имеет вид

$$\psi_i = \psi_1 + \psi' + \delta\psi_1 + \delta\psi_1,$$

где  $\psi_1$  составляющая фазы, возникающая за счет прохождения излучения источника белого света через вспомогательный интерферометр Фабри-Перо, нестабильность этой составляющей определяется нестабильностью частоты эталонного источника;

$\psi'$  составляющая фазы, возникающая за счет прохождения излучения источника белого света через основной интерферометр Фабри-Перо, нестабильность этой составляющей определяется нестабильностью частоты эталонного

источника;

$\delta\psi_1$  флуктуации фазы, обусловленные флуктуациями интенсивности излучения источника белого света, возникающие за счет прохождения этого излучения через основной интерферометр Фабри-Перо;

$\delta\psi_1$  флуктуации фазы, обусловленные флуктуациями интенсивности излучения эталонного источника, возникающие при прохождении излучения источника белого света через вспомогательный интерферометр Фабри-Перо.

Оценки показывают, что наличие составляющих фазы  $\delta\psi_1$  и  $\delta\psi_1$  в указанных выше случаях ухудшает реальную стабильность частоты пропускания фильтра на 1-2 порядка по сравнению с теоретической. Кроме того, использование источника белого света требует принятия специальных мер для его охлаждения, существенно усложняющих конструкцию. Отсутствие этих мер приводит к дополнительной нестабильности оптического фильтра. Наличие модулятора способствует возникновению связи с внешней средой через создаваемое им акустическое поле. Это приводит к неконтролируемому воздействию внешней среды на оптические элементы фильтра, снижая реально достижимую стабильность.

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является разработка оптического фильтра Фабри-Перо, в котором при упрощении конструкции обеспечивается высокая стабильность частоты пропускания при анализе как низкочастотных, так и высокочастотных процессов.

Разработанный оптический фильтр Фабри-Перо содержит оптически связанные источник эталонного излучения, щелевую диафрагму и последовательно расположенные на оптической оси светорасщепитель и интерферометр Фабри-Перо, включающий неподвижное зеркало и подвижное зеркало. По периметру подвижного зеркала закреплены три пьезоэлектрических элемента. Каждый из трех выходов светорасщепителя оптически связан с соответствующим сигнальным входом блока коррекции. Выходы блока коррекции соединены с соответствующими пьезоэлектрическими элементами, а опорные входы подключены к соответствующим перестраиваемым источникам опорного напряжения. Блок коррекции включает три операционных усилителя, выходы которых являются соответствующими выходами, а неинвертирующие входы соответствующими опорными входами блока коррекции.

Новым в разработанном оптическом фильтре Фабри-Перо является то, что в него введены вторая и третья щелевые диафрагмы. Каждая щелевая диафрагма установлена на соответствующем сигнальном входе блока коррекции. Блок коррекции включает первый, второй и третий координатуказатели, вход каждого из которых является соответствующим входом блока коррекции, а выход подключен к инвертирующему входу соответствующего операционного усилителя. Светорасщепитель установлен непосредственно за источником эталонного излучения.

Сущность изобретения заключается в том, что стабилизация оптической длины промежутка между зеркалами

интерферометра обеспечивается путем поддержания неизменного пространственного положения максимумов интерференционной картины излучения эталонного источника на выходе указанного интерферометра. Это позволяет исключить источник белого света, модулятор и один из блоков коррекции, а другой блок коррекции существенно упростить. Поскольку точность идентификации линии, обеспечиваемая координатоуказателем, составляет  $\approx 10^{-5} - 10^{-6}$  периода интерферограммы, а оптическая длина промежутка составляет  $10^4$  длин волн эталонного излучения, то результирующая относительная точность идентификации линии составляет

$$\frac{10^{-5} - 10^{-6}}{10^4} = 10^{-9} - 10^{-10}$$

Это в свою очередь позволяет использовать источник эталонного излучения повышенной стабильности.

На чертеже приведена структурная схема оптического фильтра Фабри-Перо.

Оптический фильтр Фабри-Перо содержит последовательно установленные на оптической оси источник 1 эталонного излучения, светорасщепитель 2 и интерферометр 3 Фабри-Перо. Интерферометр 3 включает неподвижное зеркало 4 и подвижное зеркало 5, по периметру которого укреплены три пьезоэлектрических элемента 6. Каждый из трех выходов светорасщепителя 2 через интерферометр 3 и соответствующую щелевую диафрагму 7 оптически связан с соответствующим сигнальным входом блока 8 коррекции. Блок 8 включает первый, второй и третий координатоуказатели 9, вход каждого из которых является соответствующим сигнальным входом блока 8. Выход каждого координатоуказателя 9 подключен к инвертирующему входу соответствующего операционного усилителя 10. Неинвертирующие входы операционных усилителей 10 являются опорными входами блока 8 и подключены к соответствующим перестраиваемым источникам 11 опорного напряжения. Выходы операционных усилителей 10 являются выходами блока 8 и соединены каждый с соответствующим пьезоэлектрическим элементом 6.

В качестве источника 1 может быть использован стабилизированный по частоте лазер, например, типа ЛНГ-302 с нестабильностью частоты  $d\nu / \nu \cdot 10^{-8} - 10^{-9}$ . Светорасщепитель 2 может быть выполнен так же, как в прототипе, содержащим оптически связанные собирающую короткофокусную линзу, собирающую длиннофокусную линзу, экран с тремя круглыми отверстиями и три идентичных поворотных зеркала, установленных каждое напротив соответствующего отверстия экрана под углом  $\pi/4$  к оптической оси светорасщепителя. В качестве пьезоэлектрических элементов 6 могут быть использованы стандартные, например, типа ЛУ-5. Блок 8 коррекции предназначен для формирования сигналов коррекции оптической длины промежутка между зеркалами 4, 5 интерферометра 3. В качестве координатоуказателей 9 могут быть

использованы координатоуказатели энергетического центра светового пятна по авт. св. СССР N 1106425, 1985. Перестраиваемые источники 11 опорного напряжения предназначены для формирования напряжения предварительной настройки фильтра, а также перестройки частоты пропускания.

Стабилизация частоты пропускания в оптическом фильтре Фабри-Перо осуществляется следующим образом.

Светорасщепитель 2 преобразует расходящийся пучок излучения эталонного источника 1 в три пучка, проходящих через интерферометр 3. Интерферометр осуществляет формирование интерферограммы излучения источника 1. Диафрагма 7 в каждом канале обеспечивает выделение одного максимума интерференционной картины. Блок 8 в каждом канале обеспечивает при изменении оптической длины промежутка между зеркалами 4, 5 формирование соответствующего сигнала коррекции. Это осуществляется следующим образом.

Изменение оптической длины промежутка между зеркалами 4, 5 приводит к смещению максимумов интерференционной картины, а следовательно, к изменению пространственного положения энергетического центра светового пятна на фоточувствительном элементе координатоуказателя 9. Напряжение, формируемое на выходе координатоуказателя 9, соответствует пространственному положению энергетического центра светового пятна на фоточувствительном элементе, поэтому изменение последнего вызывает изменение указанного напряжения. Поскольку устойчивому состоянию цепи коррекции соответствует равенство напряжений на входах операционного усилителя 10, то изменение напряжения на его инвертирующем входе приводит к возникновению сигнала коррекции на его выходе, т.е. на выходе блока 8. Этот сигнал поступает на соответствующий пьезоэлектрический элемент, в результате чего корректируется оптическая длина промежутка между зеркалами. Наличие трех каналов коррекции обеспечивает стабильность оптической длины промежутка между зеркалами 4, 5 интерферометра 3 по всему рабочему полю и тем самым стабилизацию частоты пропускания фильтра. Перестройка частоты пропускания фильтра осуществляется изменением напряжения на неинвертирующем входе операционного усилителя 10.

### Формула изобретения:

ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР ФАБРИ - ПЕРО, содержащий оптически связанные источник эталонного излучения, щелевую диафрагму и последовательно расположенные на оптической оси светорасщепитель и интерферометр Фабри - Перо, включающий неподвижное зеркало и подвижное зеркало, по периметру которого закреплены три пьезоэлектрических элемента, при этом каждый из трех выходов светорасщепителя оптически связан с соответствующим сигнальным входом блока коррекции, выходы которого соединены с соответствующими пьезоэлектрическими элементами, а опорные

RU 2054639 C1

входы подключены к соответствующим перестраиваемым источникам опорного напряжения, причем блок коррекции включает в себя три операционных усилителя, выходы которых являются соответствующими выходами, а неинвертирующие входы - соответствующими опорными входами блока коррекции, отличающийся тем, что в него дополнительно введены вторая и третья щелевые диафрагмы, при этом каждая щелевая диафрагма установлена на

5

10

соответствующем сигнальном входе блока коррекции, который включает три координатоуказателя, вход каждого из которых является соответствующим сигнальным входом блока коррекции, а выход подключен к инвертирующему входу соответствующего операционного усилителя, причем светорасщепитель установлен непосредственно за источником эталонного излучения.

15

20

25

30

35

40

45

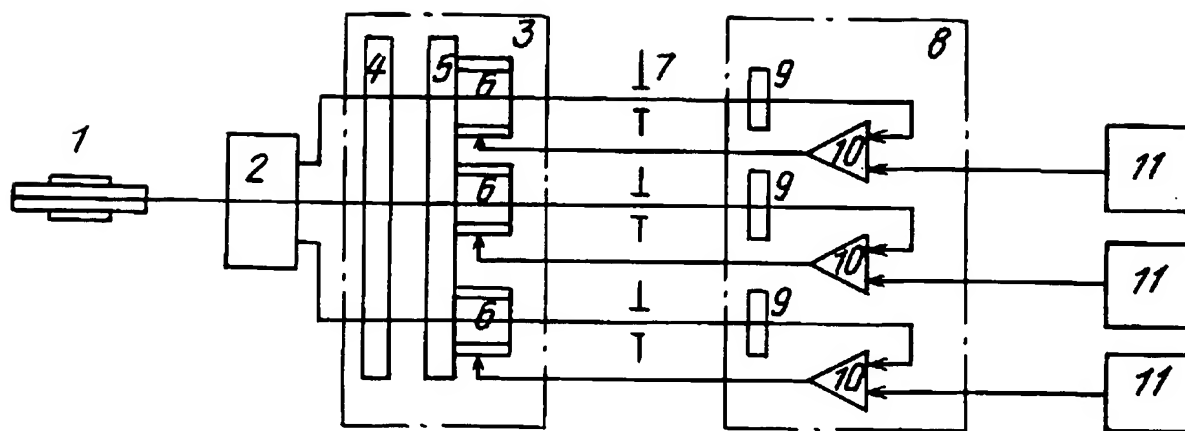
50

55

60

RU 2054639 C1

**RU 2054639 C1**



**RU 2054639 C1**